新世代オーディオ――どんな音を再生したいか (3)

観察―新仮説 聴覚は波面を鋭く感じる

響(ひびき) 學(まなぶ)

研究開発はじっくりと，“抜け”のない展開をしよう

第１回目の「“観察”が不可欠」，からはじまり，第２回目は，「どんな音が欲しい？」の観察例から，「新しい“音場再現モデル：平面波”」についてまで，一気に焦点を絞って考察しました.

第２回目の画期的な発見：“平面波”は，同じような方向を考え中の方がおられ，相当刺激になられたようで，筆者の所には，「やっぱりそうか！」と意を強くされて，「スピーカの細長い２等辺三角形のセッティングを夜中までやって，インフルエンザになって倒れた．おまえのせいだぞ」と，嬉しそうな反応もきています.

今，オーディオの究極のモデルを作ろうとしています．急ぎすぎると論旨展開に，抜けを生じます．抜けの無い考察をしましょう.

科学的な展開には大胆な発想と，実証が不可欠

科学は実証なしに結論づけてはいけません．しかし，だからといって，推測をしてはならないという事では決してありません．難しい問題を科学的に解決していくには，多くの整理された経験の洞察から，推測，発想して，仮説を立て，モデルを作り，それを実証して行くのです．思い切った推測，発想は大いに結構．だだし，実証は不可欠です．*

今，私たちが求めている“高品位な音を忠実に再現できるオーディオ”のような，数10年経ても，未だに深い音楽の再現のモデルの作れない難しい問題は，次のように進めるしかないと考えています.

それは，人は音を，「こう聞いているに違いない」の整理された深い考察から，

(1)「聴覚の仮説を立てる」．それに基づいて，目的の音を再現するのには，

(2)「しかじかの音再生モデルに違いない」までを作り上げます.

それから

(3) 種々の実証で，必要な修正を加えつつ (1), (2)を定理化，理論化をしていきます.

皆さんご存じの有名な成功例は，「アボガドロの定理；分子の１モルは常温で22.4リットルを占める」です.

この定理は最初は仮説でした．それがいろいろな実験で，矛盾が無いことが実証されて定理になりました．(A図)

新世代オーディオの研究開発の方法

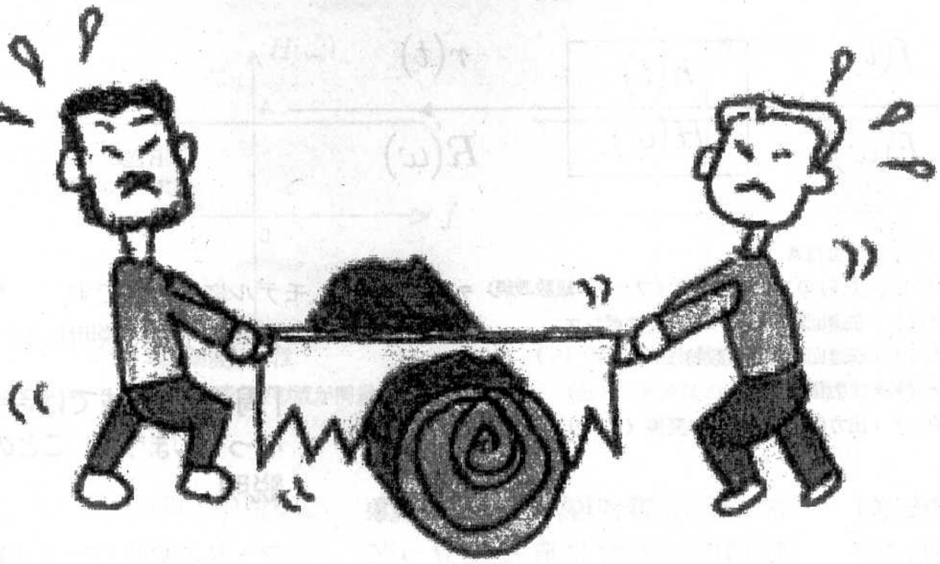
さて，では私どもが求める音は，どんな仮説で，どんなモデルなのでしょうか？　それを展開しましょう.

ちょっと一言；創造とは，既に出来上がっている分野に，身に“創（きず)”を受ける覚悟で進めることだそうです．でも，仲良くやりたいですね？　皆，良い音が欲しいと思ってるんだから仲間なんです．第一回で，研究開発を進めるにあたって，他人の意見を否定しないようにしましょうと提案しました．しかし，明らかに違うと考えられることは，はっきりと論理的に指摘して，冷静，客観的に，感情的にならず，議論をしなければ先に進めません．もちろん，自分自身でも，間違ってたら，「君が正しかった，自分の推測は間違っていた」と，正す勇気が必要ですね？　その時，正しかった人は，勝ち誇って相手のきずに指を突っ込むような事はしない，武士の情けが必要ですね？

オーディオの研究を進めるのは，長い開発の歴史があるが故に，こんな事も重要なんです.

周波数特性平坦（f 特フラット）の意味は？

一世界一わかりやすい『音信号の



〈A図〉
●新しい理論の開拓には苦労する

フーリエ変換（フーリエ級数）』の説明―

これからお話することは，第1回目のタイトルの下に記した問題の一つの答になっています．

音をマイクロフォンで信号化し，これを無歪で伝送，再現するには，無歪伝送理論が基本にあります．この理論は，“フーリエ変換”理論に基づいています．

従来のオーディオは，無歪伝送理論のうちの半分しか重要視しておらず，後半部も含めて，波形を正しく再現する必要性までを要求していません．一方，私が新たに展開する新世代オーディオは，波形を忠実に伝送して，再生する事は不可欠の基本です．そうでないと，第二回に説明したような，凄みのある，心の奥まで届く音は再生されないと考えていますので．

わかりやすいように，自然界の現象と関係づけて説明してみます．

1．マイクロフォンでとらえられた信号の解析は，そのまま時間の世界（領域）で（ブラウン管オシロスコープ上で，横軸は時間，縦軸は信号の強さの波形で）観察できます．この波形を歪みなく伝達したいわけです．

この時間領域における解析は

(1) おそらく研究開発初期に，瞬時の時間信号を観察，記録する測定器がなかった事，

(2) 忠実な波形伝送があまり重要と考えられてこなかった事，

(3) 解析の難しさ，

等からあまり重要視されず，伝送系が周波数特性での検討が主なので，周波数の世界（領域）における解析を中心に展開されてきたようです．

2．時間領域の信号を周波数領域に変換して，周波数的に解析する方法の基礎理論はフーリエ変換です．

ここで，フーリエ級数はフーリエ変換理論に含まれ，信号波形を周期波形に限定した場合ですが，例えば45分の交響曲であっても，これを繰り返し聞くとすれば周期波形ですから，フーリエ変換をフーリエ級数として説明しても，議論は限定されません．また音は実時間信号なので，実時間信号でのフーリエ級数で説明できます．フーリエ級数で実時間音信号の解析を説明すると，物理的直感の理解で説明できて，自然界の現象としてのイメージが直感的で，且つ複素関数を持ち出さなくても良く，理解され易いです．注意して欲しいのは，B図でわかるように，フーリエ変換は，「入力される時間信号f(t)を変換して別の信号に変えてしまう」のではなく，「周波数という別の世界から観察している」だけなのです．

なお，交流回路理論は入力が連続正弦波の，周波数領域のみで考えており，「波形伝送」には適してないので，使いません．交流回路だけでオーディオを理解すると無理，誤解を生じますので注意して下さい．私の学生時代には，フーリエ変換とオーディオの結びつきの説明するものは無く，交流回路で理解しようとして大変苦労しました．

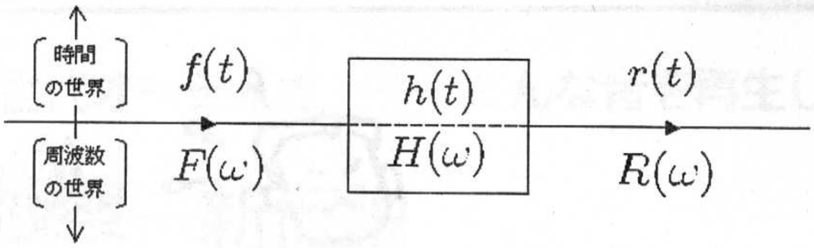
若い諸君にはその苦労をさせないよう，明解に説明しています．

フーリエ級数理論とオーディオ再生の関係

任意の周期信号は，次のように，正弦波，余弦波の総和の形で表わせます．

〈式(1)～式(4)を参照〉

式(1)～式(4)は，任意の実時間信号はフーリエ級数として正弦波，余弦波の総和の形に変換できる（総和の形で表現できる）ことを示しています．



$f(t)$ ：入力信号
$F(\omega)$ ：$f(t)$のフーリエ変換（フーリエ級数表現）＝スペクトル
$h(t)$ ：伝達回路のインパルスレスポンス
$H(\omega)$ ：伝達回路の周波数特性
$r(t)$ ：出力信号
$R(\omega)$ ：出力信号のフーリエ変換（フーリエ級数表現）＝スペクトル

〈B図〉
フーリエ変換

ですから，時間信号を「無歪伝送」するという事は，式(1)の右辺：フーリエ級数の総和の形で各周波数に分解された成分が，歪みなく伝達されれば良いのです．即ち，C図に示すように，２つの周波数特性の平坦とは，横軸は周波数で，

(1) 縦軸は伝送電圧と，

(2) もう一つの縦軸は遅れ時間特性が保証されれば良い，

ということになります．これが「無歪伝送」の基本です．

「それがフーリエ変換なの？ 数学で習った事が実際の世の中の現象記述にこんなに直接役立ってる？／」という方がいれば嬉しいです．また，「そうかなー，信じられないなー」，と疑問をもつ方は，“物理的直感”で深く考えておられる方で，科学的観察が深い人です．

従来オーディオでは上記の(1)のみが主に注目され，(2)があまり考慮されてないようですが，私のこれまでの多くの観察経験から，(2)はとっても重要な特性と信じています．とくにこれから展開する新しい音再生モデルには重要です．

疑問を丁寧に説明しましょう．

「周波数領域では時間が無くなってしまう／」ことの詳細な説明

フーリエ変換（フーリエ級数）理論では，時間領域での記述と周波数領域での記述は等価ですからどちらの領域で解析しても，“理論上の抜け”はありません．

よって，従来，周波数領域での表現：「周波数特性平坦」を中心に研究開発されてきました．有益な方法ですが，深く考えるとここに落とし穴があるのです．それは，『周波数領域の解析のみでは，音にとって重要な時間の瞬時的な変化の考察は困難』

$$f(t)=a_0+a_1\cos(2\pi f_0)t+a_2\cos 2(2\pi f_0)t+\mathrm{L}\ +a_n\cos n(2\pi f_0)t+\mathrm{L}$$
$$+b_1\sin(2\pi f_0)t+b_2\sin 2(2\pi f_0)t+\mathrm{L}\ +b_n\sin n(2\pi f_0)t+\mathrm{L} \quad (1)$$
$$(t_0<t<t_0+1/f_0)$$

便宜上，$1/f_0=T$ とすれば上式は

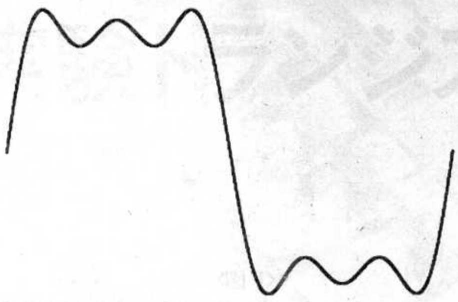
$$f(t)=a_0+\sum_{n=1}^{\infty}\{a_n\cos n(2\pi f_0)t+b_n\sin n(2\pi f_0)t\} \qquad (t_0<t<\mathrm{t}_0+\mathrm{T}) \quad (2)$$

この式は区間 (t_0, t_0+T) での $f(t)$ の三角フーリエ級数表示です．
各定数 a_n, b_n は次のように求められます．

$$a_n=\frac{\int_{t_0}^{(t_0+T)} f(t)\cos n(2\pi f_0)t\,dt}{\int_{t_0}^{(t_0+T)}\cos^2 n(2\pi f_0)t\,dt} \quad (3)$$

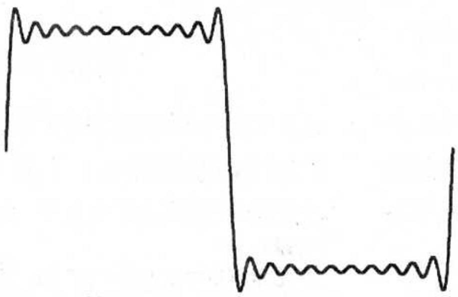
$$b_n=\frac{\int_{t_0}^{(t_0+T)} f(t)\sin n(2\pi f_0)t\,dt}{\int_{t_0}^{(t_0+T)}\sin^2 n(2\pi f_0)t\,dt} \quad (4)$$

●式(1)〜式(4)



$$f(t) = \sum_{n=1}^{N} \frac{1}{2n-1} \sin 2\pi(2n-1)f_0 t$$

第5次の高調波（N=3）にて打ち切り



$$f(t) = \sum_{n=1}^{N} \frac{1}{2n-1} \sin 2\pi(2n-1)f_0 t$$

第21次の高調波（N=11）にて打ち切り
（理想フィルタの矩形波応答波形と同じ）

〈E図〉
矩形波のフーリエ級数合成

けないのですが，公表されなかったのでわかりません．また，それがあっても，周波数領域の全周波数についてばらまかれた音情報がどこが重要なのかの検討は殆ど出来ません．これが，周波数特性平坦かどうかだけでは，時間特性の過渡的なインパルシブな音の再生についての，無歪伝送を考察できない1例です．こんなことなら，原始的な方法ですが，アンプ入力にクリック音を入力し，『カリッ！　という音がするのか，ドボンという音がするのか』のほうが音再生システムの良さの判定に役立ちますね？　カリッ！　という音の方が正しいのは誰にもわかるのに，周波数特性ではわからないのですから．

「スピーカの良さは周波数特性じゃない」とは，巷でいわれてきたことですが，あながち間違った指摘ではないですね？　もちろん無歪伝送の基本としての周波数特性は無視しては駄目ですが．

どんな新しい聴覚の仮説が考えられるか？

以上のような実例からの考察ができるのに，なぜ，これまでの音の再生は，周波数特性（C図(1)）にこだわった解析がされてきたのでしょうか？　それは，従来の聴覚モデルは，「耳の鼓膜の後ろの音の感覚器官：蝸牛に32個のバンドパス・フィルタが並んでいて，その整流出力の総和を聞いている」，というものです．

これは音を周波数の強度でしかとらえておらず，時間特性を記述できる遅れ時間の周波数特性（C図(2)）がまったく考慮されていません．だから我々の目的にはまったく使えない原始的モデルです．また，もし遅れ時間が考慮されたとしても，瞬時的な音への人の鋭い反応についてまだ不十分です．第2回目に記述したような，「走る鼓の音」，等の音は，誰が聴いてもわかるのですから．

私は，「波面が再現される」ことが重要と推定しました．この私の新しいモデルには，「従来の初歩的なモデル」を含んで，不備を修正した，超えたものです．

第2回目に示したような，多くの観察される実例があるのですから，「聴覚は波面を鋭く聞く能力がある」とする仮説を立てざるをえません．この仮説を基に考察を進め，矛盾が出たら最初に戻る，という方法で考察を進めます．

従来の聴覚モデルには人が波面を聞き取るという性質が入っていないのですが，少しは研究されています．でもせいぜい，数ミリセコンド（ms）の時間差ならわかる，という研究結果がある程度です．私に言わせれば，「冗談じゃないよ！　そんなあまい感度じゃない！」です．

人の時間遅れに対する感度の鋭さはそれより，1000000倍以上ありそうです．その実例を示します．

ns（ナノセコンド＝10^{-9}sec）波面精度が必要な実例

1．ステレオで，左右のアンプは同社製のものでないと音がよくないといわれます．その理由は，要は，音像がはっきりしないことのようです．これまでに明らかになった特性から正攻法で検討しましょう．周波数特性の，振幅伝達特性，群遅延特性（各周波数が伝送帯域の中で相対的にどのくらいの遅れ時間に入っている